

1 Đại cương về BTCT ứng lực trước.

1 Khái niệm.

Trên dầm một nhịp, ta đặt vào một lực nén trước N (Hình 1a) và tải trọng sử dụng P (Hình 1b). Dưới tác dụng của tải trọng P , ở vùng dưới của dầm xuất hiện ứng suất kéo. Nhưng do ảnh hưởng của lực nén N , trong vùng dưới đó lại xuất hiện ứng suất nén. Ứng suất nén trước này sẽ triệt tiêu hoặc làm giảm ứng suất kéo do tải trọng sử dụng P gây ra. Để cho dầm không bị nứt, ứng suất tổng cộng trong vùng dưới không được vượt quá cường độ bị kéo R_k của bê tông.

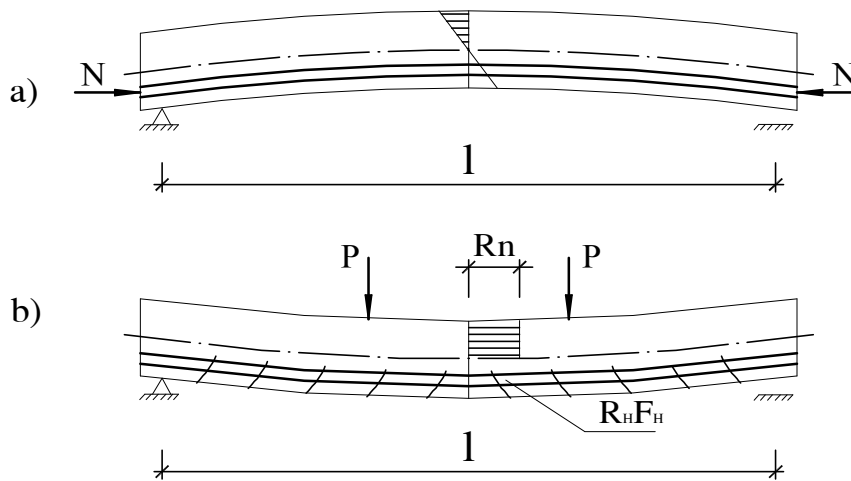
Để tạo ra lực nén trước người ta căng cốt thép rồi gắn chặt nó vào bê tông thông qua lực dính hoặc neo. Nhờ tính chất đàn hồi, cốt thép có xu hướng co lại và sẽ tạo nên lực nén trước N . Như trước khi tải trọng sử dụng P , Cốt thép đã bị căng trước còn bê tông thì đã bị nén trước.

2 Ưu – khuyết điểm của BTCT ứng lực trước.

a/. Ưu điểm:

1. Cần thiết và có thể dùng được thép cường độ cao.

Trong bê tông cốt thép thường, không dùng được thép cường độ cao, vì những khe nứt đầu tiên ở bê tông sẽ xuất hiện khi ứng suất trong cốt thép chịu kéo mới chỉ đạt giá trị từ 200 đến 300 KG/cm². Khi dùng thép cường độ cao ứng suất trong cốt thép chịu kéo có thể đạt tới giá trị 10000 đến 12000 KG/cm² hoặc lớn hơn. Điều đó làm xuất hiện các khe nứt rất lớn, vượt quá giá trị giới hạn cho phép.



Hình 1. Sự làm việc của dầm bê tông cốt thép

a) Khi chịu lực nén N đặt ở đầu dầm - b) khi chịu tải trọng sử dụng P

Trong bê tông cốt thép ứng lực trước, do có thể khống chế sự xuất hiện khe nứt bằng lực căng trước của cốt thép nên cần thiết và có thể dùng được thép cường độ cao. Kết quả là dùng ít thép hơn vào khoảng 10 đến 80%.

Hiệu quả tiết kiệm thép thể hiện rõ nhất trong các cấu kiện có nhịp lớn, phải dùng nhiều cốt chịu kéo như dầm, giàn, thanh kéo của vòm, cột điện, tường bể chứa, Xilo v.v ... (tiết kiệm 50 - 80% thép). Trong các cấu kiện nhịp nhỏ, do cốt cấu tạo chiếm tỉ lệ khá lớn nên tổng số thép tiết kiệm sẽ ít hơn (khoảng 15%).

Đồng thời cũng cần lưu ý rằng giá thành của thép tăng chậm hơn cường độ của nó. Do vậy dùng thép cường độ cao sẽ góp phần làm giảm giá thành công trình.

2. Có khả năng chống nứt cao hơn. (Do đó khả năng chống thấm tốt hơn).

Dùng bê tông cốt thép ULT, người ta có thể tạo ra các cấu kiện không xuất hiện các khe nứt trong vùng bê tông chịu kéo, hoặc hạn chế sự phát triển bề rộng của khe nứt, khi chịu tải trọng sử dụng. Do đó bê tông cốt thép ULT tỏ ra có nhiều ưu thế trong các kết cấu đòi hỏi phải có khả năng chống thấm cao như ống dẫn có áp, bể chứa chất lỏng và chất khí v.v ...

3. Có độ cứng lớn hơn. (Do đó có độ võng và biến dạng bé hơn).

Nhờ có độ cứng lớn, nên cấu kiện bê tông cốt thép ULT có kích thước tiết diện ngang thanh mảnh hơn so với cấu kiện bê tông cốt thép thường khi có cùng điều kiện chịu lực như nhau, vì vậy có thể dùng trong kết cấu nhịp lớn.

Ngoài các ưu điểm cơ bản trên, kết cấu bê tông cốt thép ULT còn có một số ưu điểm khác như:

- Nhờ có tính chống nứt và độ cứng tốt nên tính chống mỏi của kết cấu được nâng cao khi chịu tải trọng lặp đi lặp lại nhiều lần.

- Nhờ có ULT nên phạm vi sử dụng kết cấu bê tông cốt thép lắp ghép và nửa lắp ghép được mở rộng ra rất nhiều. Người ta có thể sử dụng biện pháp ULT để nối các mảnh rời của một kết cấu lại với nhau.

b/. Nhược điểm:

ULT không những gây ra ứng suất nén mà còn có thể gây ra ứng suất kéo ở phía đối diện làm cho bê tông có thể bị nứt.

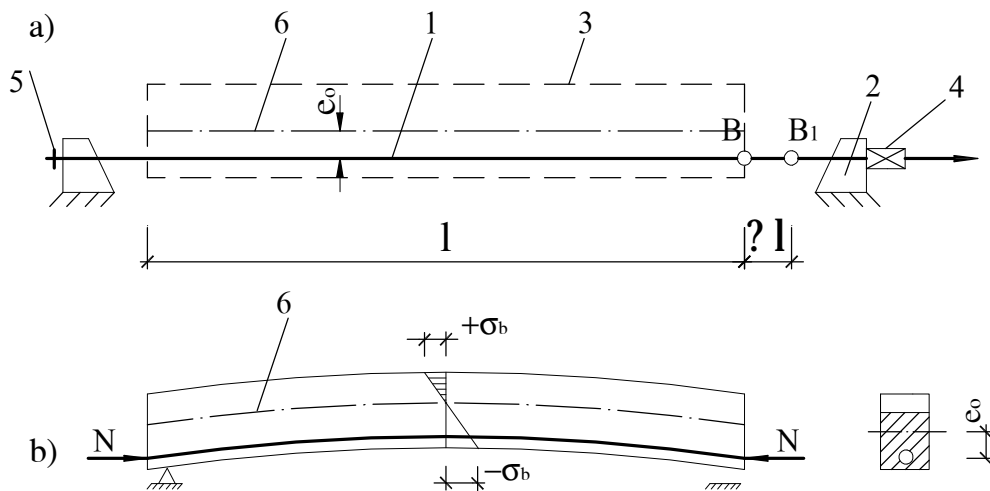
Việc chế tạo bê tông cốt thép ULT cần phải có thiết bị đặc biệt, có công nhân lành nghề và có sự kiểm soát chặt chẽ về kỹ thuật, nếu không sẽ có thể làm mất ULT do tuột neo, do mất lực dính. Việc bảo đảm an toàn lao động cũng phải đặc biệt lưu ý.

2. Các phương pháp gây ứng lực trước.

2.1 Phương pháp căng tr ớc (căng trên bệ).

Cốt thép ULT được neo một đầu cố định vào bệ còn đầu kia được kéo ra với lực kéo N (Hình 2a). Dưới tác dụng của lực N , Cốt thép được kéo trong giới hạn đàn hồi và sẽ giãn dài ra một đoạn Δ_1 , tương ứng với các ứng suất xuất hiện trong cốt thép, điểm B của thanh được dịch chuyển sang điểm B_1 , khi đó, đầu còn lại của cốt thép được cố định nốt vào bệ.

Tiếp đó, đặt các cốt thép thông thường khác rồi đổ bê tông. Đợi cho bê tông đông cứng và đạt được cần thiết R_0 thì thả các cốt thép ULT rời khỏi bệ (gọi là buông cốt thép). Như một lò so bị kéo căng, các cốt thép này có xu hướng co ngắn lại à thông qua lực dính giữa nó với bê tông trên suốt chiều dài của cấu kiện, cấu kiện sẽ bị nén với giá trị bằng lực N đã dùng khi kéo cốt thép (Hình 2b).



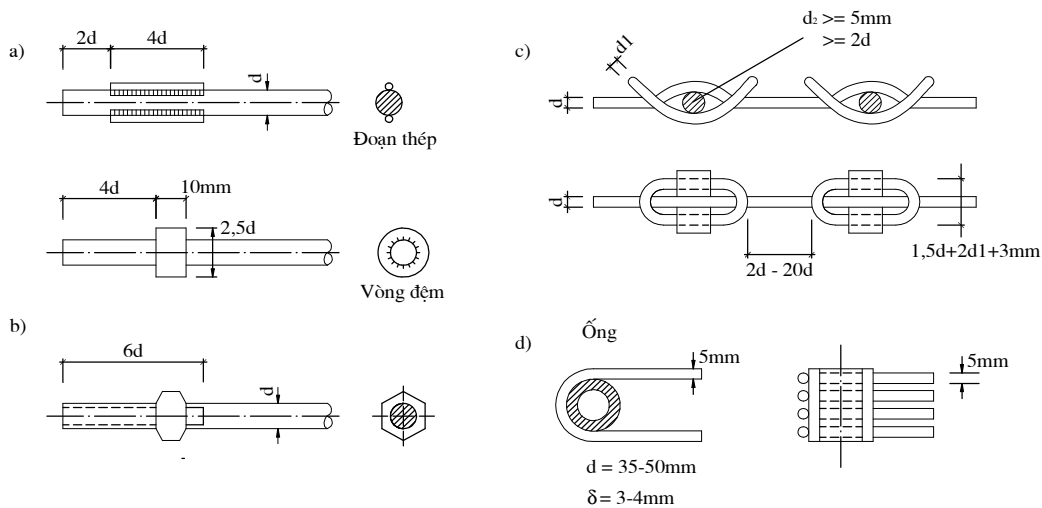
Hình 2. Sơ đồ phương pháp căng tr ớc

a) Tr- óc khi buông cốt thép U_{LT} - b) Sau khi buông cốt thép U_{LT}

1- Cốt thép ứng lực tr- óc; 2- Bệ căng; 3- Ván khuôn; 4- Thiết bị kéo thép;

5- Thiết bị cố định cốt thép ứng lực tr- óc; 6- Trục trung tâm.

Để tăng thêm lực dính giữa bê tông và cốt thép, người ta thường dùng cốt thép U_{LT} là cốt thép có có gờ hoặc là cốt thép trơn được xoắn lại, hoặc là ở hai đầu có cấu tạo những mẫu neo đặc biệt (Hình 3).



Hình 3. Neo cốt thép trong phương pháp căng tr- óc

a) Hàn đoạn thép ngắn hay vòng đệm - b) Ren các gờ xoắn ốc
c) Neo loại vòng - d) Neo loại ống.

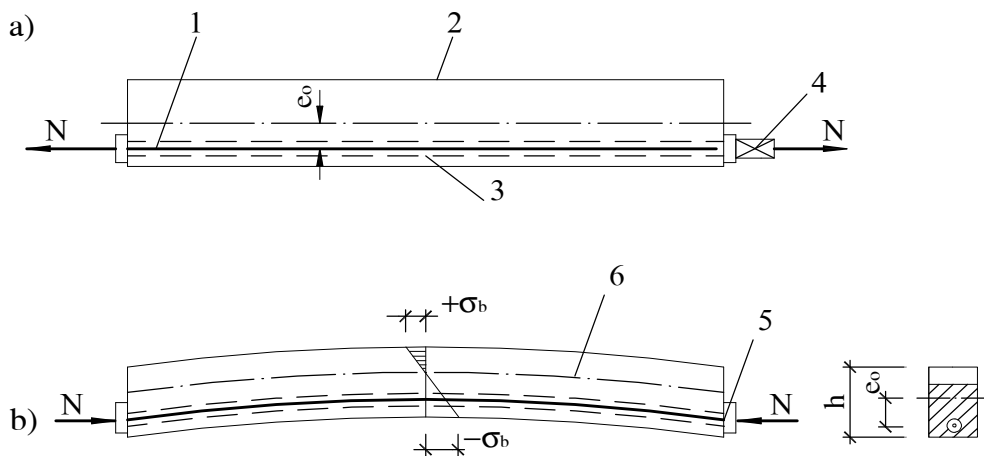
Phương pháp căng trước tỏ ra ưu việt đối với những cấu kiện sản xuất hàng loạt trong nhà máy. ở đó có thể xây dựng những bộ căng cố định có chiều dài từ 75 đến 150 m để một lần căng cốt thép có thể đúc được nhiều cấu kiện (ví dụ dầm, Panen). Cũng có thể sử dụng ván khuôn thép làm bộ căng.

2.2 Phương pháp căng sau (căng trên bê tông).

Trước hết đặt các cốt thép thông thường vào các ống rãnh bằng tôn, kẽm hoặc bằng vật liệu khác để tạo các rãnh dọc, rồi đổ bê tông. Khi bê tông đạt đến cường độ nhất định R_0 thì tiến thành luồn và căng cốt thép U_{LT} tới ứng suất qui định. Sau khi căng xong, cốt U_{LT} được neo chặt vào đầu cấu kiện (Hình 4). Thông qua các neo đó cấu kiện sẽ bị nén bằng lực đã dùng khi kéo căng cốt thép. Tiếp đó, người ta bơm vữa vào trong ống rãnh để bảo vệ cốt thép khỏi bị ăn mòn và tạo ra lực dính giữa bê tông với cốt thép.

Để bảo đảm tốt sự truyền lực nén lên cấu kiện, người ta chế tạo các loại neo đặc biệt như neo Freyssinet (Neo bó sợi thép khi dùng kích hai chiều - Hình 5).

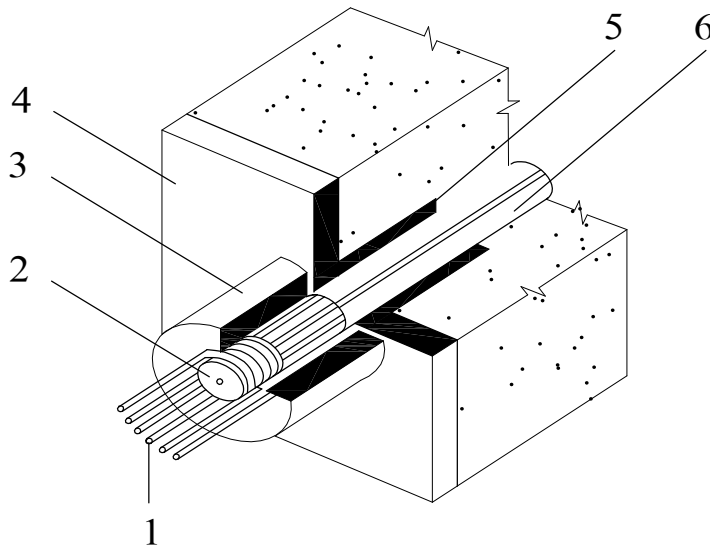
Neo kiểu cọc (Hình 6).



Hình 4. Sơ đồ phương pháp căng sau

a- Trong quá trình căng ; b- Sau khi căng.

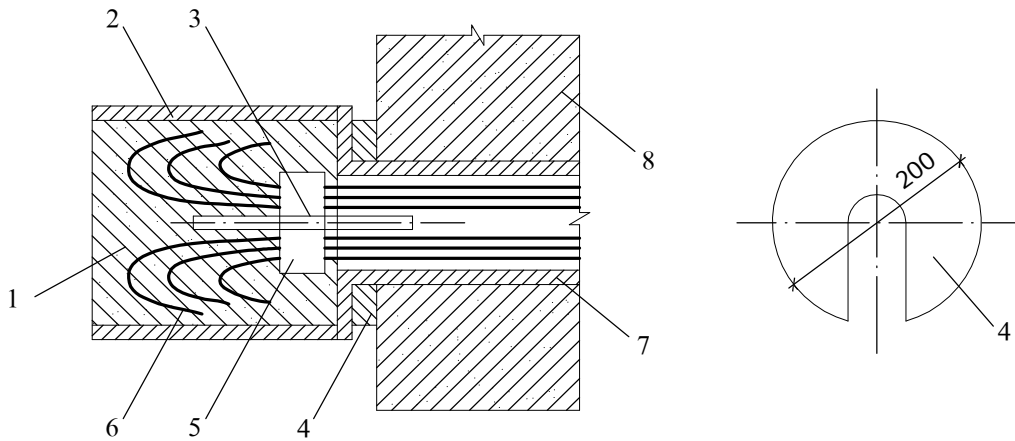
1- Cốt thép U_{LT}; 2- Cấu kiện BTCT; 3- ống rãnh;
4- Thiết bị kích; 5- Neo; 6- Trục trung tâm



Hình 5. Neo bó sợi thép khi dùng kích hai chiều.

1- Bó sợi thép, 2- Chêm hình côn, 3- Khối neo bằng thép
4- Bản thép truyền lực, 5- Đoạn ống neo, 6- ống tạo rãnh

Phương pháp căng sau được sử dụng thích hợp để chế tạo các cấu kiện mà yêu cầu phải có lực nén bê tông tương đối hoặc các cấu kiện phải đổ bê tông tại chỗ. Nó còn được dùng để ghép các mảng của kết cấu có nhịp lớn (khoảng trên 30m) như nhịp cầu, các dầm, dàn v.v ...



Hình 6. Neo kiểu cốc.

1- Bê tông, 2- Cốt bằng thép, 3- Chốt thép, 4- Vòng đệm bằng thép
5- Vòng kẹp, 6- Bó sợi thép, 7- ống tạo rãnh, 8- Cấu kiện.

3 Các chỉ dẫn cơ bản về cấu tạo.

3.1 Vật liệu.

a. Bê tông và vữa.

Bê tông dùng trong cấu kiện bê tông cốt thép U_{LT} là bê tông nặng có mác lớn hơn hoặc bằng 200. Việc lựa chọn mác bê tông phụ thuộc vào dạng, loại và đường kính của cốt thép căng, cũng như phụ thuộc vào việc có dùng neo hay không dùng neo. Ví dụ nếu dùng sợi thép có đường kính không lớn hơn $\Phi 5$ thì các thiết kế của bê tông lấy không nhỏ hơn 250, còn nếu sợi thép có đường kính không nhỏ hơn $\Phi 6$ thì mác thiết kế của bê tông lấy không nhỏ hơn 400. Ngoài ra việc lựa chọn mác bê tông còn phụ thuộc vào cường độ mà nó cần phải có khi bắt đầu gây U_{LT}, cũng như vào loại tải trọng tác dụng lên cấu kiện. Thông thường, với kết cấu nhịp lớn dầm, dầm v.v ... nên dùng bê tông

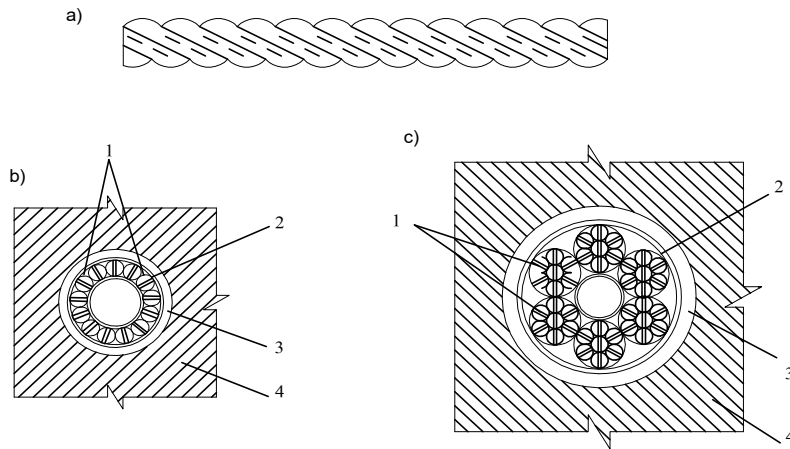
mác 400 hoặc 500, còn đối với kết cấu có nhịp thông thường như panen, xà gồ v.v ... nên dùng bê tông mác 300 hoặc 350.

Vừa dùng để lấp các khe thi công, các mối nối của cấu kiện ghép, để làm lớp bảo vệ cốt thép và bảo vệ các neo, phải có mác từ 150 trở lên. Vừa dùng để bơm vào các ống rãnh phải có mác không nhỏ hơn 300 và phải dễ chảy, ít co ngót.

b. Thép.

Trong cấu kiện bê tông cốt thép U_{LT} cần dùng thép cường độ cao, bởi vì trong quá trình chế tạo và sử dụng một phần ứng suất căng ban đầu bị mất đi. Tốt nhất là dùng sợi thép cường độ cao. Nhưng vì đường kính sợi thép quá bé (3 - 8 mm) nên số lượng thép trong cấu kiện khá nhiều, do đó gây khó khăn cho việc bố trí chúng.

Để khắc phục nhược điểm này, người ta thường dùng bó bện dây thừng hoặc các bó sợi không bện (Hình 7). Loại bó bện dây thừng, thường được chế tạo từ các sợi có đường kính từ 1,5 đến 5 mm. Loại các bó sợi thép không bện, thường gồm nhiều sợi thép đặt song song với nhau theo chu vi vòng tròn và tựa các đoạn lò so đặt cách nhau khoảng một mét. Số sợi trong một bó phụ thuộc vào số chêm trên kích (mỗi chêm giữ được hai sợi). Người ta thường dùng bó có 12, 18 và 24 sợi.



Hình 7. Các chế phẩm sợi thép

a) Thép bện, b) Bó sợi không bện, c) Bó sợi gồm sáu dây thép bện, mỗi dây bảy sợi

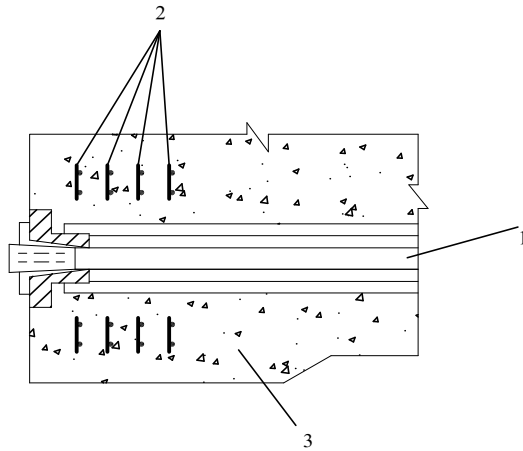
1- Sợi thép $\varphi 5$, 2- sợi thép $\varphi 1$ quấn ngoài bó sợi, 3- Thành ống rãnh, 4- cấu kiện.

Ngoài ra, có thể dùng cốt thép thanh có gờ từ nhóm thép cán nóng loại A - IV và loại gia công nhiệt A_T - IV trở lên.

Thông thường, khi chiều dài dưới 12m, nên dùng các loại thép thanh còn khi chiều dài cấu kiện lớn hơn 12 m thì nên dùng các sợi thép cường độ cao và dây cáp.

Khi cấu kiện làm việc trong các điều kiện đặc biệt như dưới áp lực của hơi, các chất lỏng, của vật liệu hạt thì nên dùng các sợi thép cường độ cao và cốt thép thanh thuộc nhóm A-V và A_T -V trở lên.

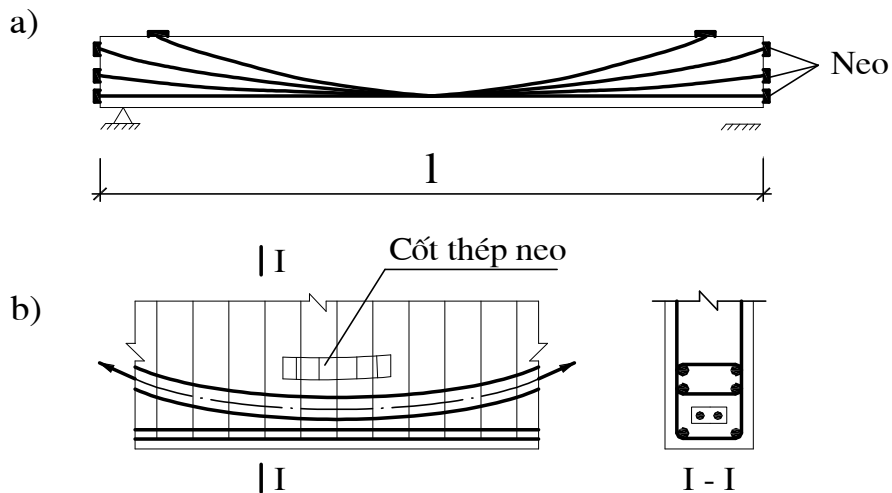
3.2. Bố trí và cấu tạo cốt thép.



Hình 8. Gia cố khu vực neo.

1- Bó sợi thép, 2- L-ới thép gia cố, 3- Phần tăng thêm KTTD ở miền gần neo.

Trong cấu kiện bê tông cốt thép U_{LT}, việc bố trí cốt thép hợp lý để bảo đảm sự làm việc bình thường của cấu kiện trong quá trình chế tạo cũng như khi sử dụng là rất quan trọng.



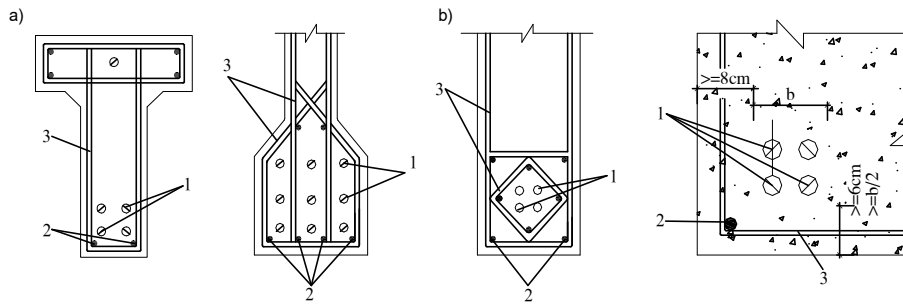
Hình 9. Sơ đồ đặt cốt thép U_{LT}.

a) Đặt cốt cong, b) Đặt cốt thép phụ để gia cường bê tông.

Trong phương pháp căng trước, không được phép dùng sợi thép tròn không có gờ hoặc không gia công mặt ngoài để làm cốt thép ứng lực trước, vì trong nhiều trường hợp, lực dính với bê tông của sợi tròn trơn tỏ ra không đủ.

Để đảm bảo sự tập trung ứng suất, người ta còn cấu tạo các tấm thép dưới các neo, hoặc là uốn cong cốt thép để có thể đưa cốt thép lên phía trên của cấu kiện (Hình 9a). Tại các chỗ uốn cong của cốt thép, cần đặt thêm các cốt thép phụ để gia cường (Hình 9b).

Trong cấu kiện bê tông cốt thép ULT, ngoài các quy định trên người ta còn phải lưu ý đến việc bố trí khoảng cách giữa các cốt thép và lớp bê tông bảo vệ chúng. Trong phương pháp căng trước, việc cấu tạo tương tự như đối với bê tông cốt thép thường (Hình 10a). Trong phương pháp căng sau, nếu cốt thép ULT được đặt trong các rãnh thì chiều dài của lớp bê tông bảo vệ kể từ mặt ngoài của cấu kiện đến mặt trong rãnh lấy không nhỏ hơn 20 mm và không nhỏ hơn nửa đường kính rãnh, còn khi đường kính rãnh lớn hơn 32 mm thì lấy ít nhất bằng đường kính rãnh. Khi trong rãnh đặt một số bó, hoặc thanh cốt thép (Hình 10b) thì lớp bảo vệ lấy không nhỏ hơn 80 mm đối với các thành bên, không nhỏ hơn 60 mm và nhỏ hơn một nửa chiều rộng rãnh đối với các mặt đáy.



Hình 10. Bố trí cốt thép trong tiết diện ngang.

a- Trong phương pháp căng trước; b- Trong phương pháp căng sau;
1- cốt thép ứng lực trước; 2- cốt thép dọc thường; 3- cốt đai thường.

Khoảng cách giữa các rãnh không được bé hơn đường kính rãnh và không nhỏ hơn 50 mm, đồng thời phải chọn sao cho việc căng cốt thép được dễ dàng và không bị phá hoại cục bộ khi buông cốt thép.

4 Các chỉ dẫn cơ bản về tính toán cấu kiện BTCT ULT.

Giống như cấu kiện bê tông cốt thép thường, cấu kiện BTCT ULT cần phải được tính toán theo hai nhóm trạng thái giới hạn.

Khi tính cấu kiện bê tông cốt thép ULT theo nhóm trạng thái giới hạn thứ nhất ngoài việc tính theo cường độ, theo ổn định (nếu có khả năng mất ổn định), theo độ mỏi (nếu chịu tải trọng động), còn cần phải tính toán kiểm tra khi buông cốt thép trong giai đoạn chế tạo và cường độ chịu nén cục bộ của bê tông dưới các thiết bị neo.

Tính toán theo nhóm trạng thái giới hạn thứ hai bao gồm tính toán kiểm tra khả năng chống nứt và biến dạng của cấu kiện.

Việc tính toán theo hai nhóm trạng thái giới hạn để có liên quan mật thiết đến trị số ứng suất trong cốt thép và trong bê tông, cũng như các hao tổn ứng suất trong quá trình chế tạo và sử dụng cấu kiện.

4.1 Trị số ứng suất trong cốt thép và trong BT.

Trị số ứng suất trước cơ bản của cốt thép ULT là trị số giới hạn s_o và s'_o trong cốt thép căng trước F_H và F'_H (F_H và F'_H tương ứng được đặt trong miền kéo và nén của cấu kiện). Trị số này được chọn theo qui định của qui phạm.

Khi căng cốt thép bằng phương pháp cơ học:

Đối với thép thanh: $0,35R_{HC} \leq s_o \leq 0,95R_{HC}$

(1)

Đối với sợi thép cường độ cao: $0,25R_{HC} \leq s_o \leq 0,75R_{HC}$

(2)

Ngoài ra, để đo kiểm tra ứng suất trong cốt thép ULT thời điểm kết thúc việc căng trên bệ, hoặc tại vị trí đặt lực căng khi căng cốt thép trên bê tông, người ta đưa vào khái niệm ứng suất khống chế.

Khi căng cốt thép trên bệ:

Trị số ứng suất khống chế lấy bằng trị số s_o và s'_o sau khi đã kể đến các hao tổn ứng suất do biến dạng của neo (s_{neo}) và của ma sát (s_{ms}).

$$s_{HK} = s_o - s_{neo} - s_{ms}; \quad s'_{o} = s'_{o} - s'_{neo} - s'_{ms}$$

(3)

Khi căng trên bê tông:

$$s_{BK} = s_o - n_H s_{bH}; \quad s'_{HK} = s'_{o} - n_H s'_{bH}$$

(4)

Trong đó s_{bH} và s'_{bH} - UST trong bê tông ở ngang mức trọng tâm cốt thép F_H và F'_H (có kể đến các hao tổn ứng suất trước khi ép

bê tông); n_H - tỉ số giữa môđun đàn hồi của cốt thép căng E_H và môđun đàn hồi của bê tông E_b . $n_H = E_H/E_b$.

Trong thực tế, do sai số của các dụng cụ đo, do nhiều nguyên nhân chưa được xét đến một cách chính xác trong lúc tính toán v.v ... Để xét đến điều đó, người ta đưa vào hệ số độ chính xác khi căng cốt thép m_t .

Lấy m_t bằng 0,9 hoặc bằng 1,1 nếu việc giảm hoặc tăng ứng suất trong cốt thép là bất lợi đối với kết cấu. Lấy m_t bằng 1 khi tính toán các hao tổn UST trong cốt thép và khi tính toán theo sự mở rộng khe nứt, cũng như khi tính theo biến dạng.

Đối với bê tông để biến dạng từ biến và hao tổn ứng suất trong cốt thép không quá lớn, qui phạm qui định tỉ số giữa ứng suất nén trước s_{bH} trong bê tông và cường độ khối vuông R_o của bê tông lúc buông cốt thép không được lớn hơn trị số giới hạn cho trong bảng 9.1.

Cường độ khối vuông R_o của bê tông lúc buông cốt thép nên lấy không nhỏ hơn 0,8 lần cường độ khối vuông thiết kế, và không nhỏ hơn 140 kG/cm², còn khi dùng cốt thép thanh loại A_T - VI và dây cáp thì không được lấy nhỏ hơn 200 kG/cm².

Bảng . 1. Trị số giới hạn của tỉ số s_{bH}/R_o

Trạng thái ứng suất của tiết diện	Phương pháp căng	Tỉ số s_{bH}/R_o khi nén	
		Đúng tâm	Lệch tâm
ứng suất nén tăng khi ngoại lực tác	Căng trước	0,50	0,55
	Căng sau	0,45	0,50

dụng	Căng trước	0,65	0,75
ứng suất nén giảm khi ngoại lực tác dụng	Căng sau	0,55	0,65

4.2 Sự hao ứng suất trong cốt thép ứng lực tr ớc.

Sau một thời gian, do rất nhiều nguyên nhân UST trong cốt thép bị giảm đi (thậm chí bị triệt tiêu và hiệu quả của ULT hoàn toàn biến mất). Do đó việc đánh giá đầy đủ chính xác các nguyên nhân gây hao tổn ứng suất trong cốt thép ULT là vấn đề hết sức quan trọng đối với việc thiết kế kết cấu bê tông cốt thép ULT.

Căn cứ vào nguyên nhân gây hao tổn ứng suất, người ta chia ứng suất hao trong cốt thép ULT ra làm tám loại cơ bản dưới đây.

1) Do tính chùng ứng suất của cốt thép

Hiện tượng chùng ứng suất là hiện tượng ứng suất ban đầu trong cốt thép ULT giảm bớt theo thời gian trong khi chiều dài của cốt thép vẫn giữ nguyên không đổi.

Khi căng bằng phương pháp cơ học, ứng suất hao (kG/cm^2) được tính theo công thức sau:

$$s_{ch} = (0,22 \frac{s_o}{R_{HC}} - 0,1)s_o$$

Đối với sợi thép cường độ cao:

(5)

$$s_{ch} = 0,1s_o - 200$$

Đối với cốt thép thanh:

(6)

Trị số s_o tính bằng kG/cm^2 và không kể đến các hao tổn ứng suất. Khi tính s_{ch} , nếu ra kết quả âm, thì xem như $s_{ch} = 0$.

2) Do sự chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép và thiết bị căng (s_{nh})

ứng suất hao s_{nh} xảy ra khi bê tông đông cứng trong điều kiện được dưỡng hộ nhiệt, và được tính theo (7)

$$s_{nh} = 12,5\Delta t,$$

(7)

trong đó Δt - sự chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép và bộ căng tính bằng độ bách phân. Khi không đủ số liệu chính xác có thể lấy Δt bằng 65°C .

3) Do sự biến dạng của neo và sự ép sát các tấm đệm (s_{neo})

$$s_{neo} = \frac{I}{L} E_H$$

(8)

Trong đó L - chiều dài của cốt thép căng, tính bằng mm (trong phương pháp căng trước là khoảng cách giữa hai bộ căng, trong phương pháp căng sau là chiều dài của cốt thép nằm trong cấu kiện); I - tổng số biến dạng của bản thân neo, của khe hở tại neo, của sự ép sát các tấm đệm v.v...; lấy I theo số liệu thực nghiệm. Khi không có số liệu thực nghiệm có thể lấy $I = 2\text{mm}$ cho mỗi đầu neo.

4) Do sự ma sát của cốt thép với thành ống (s_{ms})

Trong phương pháp căng sau, s_{ms} được tính theo công thức

$$s_{ms} = s_0 \left(1 - \frac{1}{e^{kx + mq}} \right)$$

(9)

Trong đó e - cơ số lôgarit tự nhiên; k - hệ số xét đến sự chênh lệch vị trí đặt ống so với vị trí thiết kế (bảng 2); x - chiều dài đoạn ống

(tính bằng m) kể từ thiết bị căng dây gần nhất tới tiết diện tính toán; m - hệ số ma sát giữa cốt thép và thành ống (bảng 2); q - tổng góc quay của trục cốt thép, tính bằng radian.

Trong phương pháp căng trước, nếu có thiết bị gá lắp đặc biệt để tạo độ cong, thì s_{ms} tính theo công thức trên với $x = 0$ và $m = 0,25$.

Bảng .2. Hệ số k và m để xác định sự hao ứng suất ma sát

Loại ống rãnh	Trị số k	Trị số m khi cốt thép là	
		bó sợi thép	thanh có gờ
ống có bề mặt kim loại	0,003	0,35	0,40
ống với bề mặt bê tông	0	0,55	0,65
- Tạo nên bằng lõi cứng	0,0015	0,55	0,65
- Tạo nên bằng lõi mềm			

5) Do từ biến nhanh ban đầu của bê tông (s_{tbn})

Trong phương pháp căng trước, ứng suất hao này xảy ra ngay sau khi buông cốt thép để ép bê tông. Đối với bê tông khô cứng tự nhiên:

$$s_{tbn} = 500 \frac{s_{II}}{R_o} \text{ khi } \frac{s_{BH}}{R_o} \leq a$$

(10)

$$s_{tbn} = 500 \cdot 1000b \left[\frac{s_{bH}}{R_0} - a \right] \text{ khi } \frac{s_{bH}}{R_0} > a$$

(11)

Trong đó a, b - hệ số phụ thuộc vào mác bê tông, với bê tông mác không nhỏ hơn 300 thì $a = 0,6$ và $b = 1,5$; s_{bH} có kể đến các ứng suất hao: s_{ch} , s_{neo} và s_{ms} .

6) *Do co ngót của bê tông (s_{co})*

Đối với bê tông nặng, đông cứng tự nhiên, trị số s_{co} lấy theo bảng 3.

Bảng .3. Sự hao ứng suất trong cốt thép do co ngót của bê tông, kG/cm²

Mác bê tông	Phương pháp căng	
	Căng trước	Căng sau
£ M400	400	300
M500	500	350
³ M600	600	500

Trong phương pháp căng sau, s_{co} có trị số bé hơn là vì trước khi buông cốt thép, bê tông đã co ngót được một phần. Biến dạng co ngót này không ảnh hưởng đến sự hao ứng suất trong cốt thép.

7) *Do từ biến của bê tông (s_{bt})*

Hao tổn do từ biến của bê tông xảy ra sau một quá trình chịu nén lâu dài. Đối với bê tông nặng

$$s_{tb} = 2000k \frac{s_{bH}}{R_o} \quad \text{khi } \frac{s_{bH}}{R_o} \leq 0,6;$$

(12)

$$s_{tb} = 400k \left[\frac{s_{bH}}{R_o} - 0,3 \right] \quad \text{khi } \frac{s_{bH}}{R_o} > 0,6$$

trong đó $k = 1$ đối với bê tông đông cứng tự nhiên, $k = 0,85$ đối với bê tông dưỡng hộ nhiệt; trị số s_{bh} được lấy bằng s_{bh} khi tính ứng suất hao do từ biến nhanh.

8) *Bê tông bị cốt thép vòng, hoặc cốt thép xoắn ốc ép lõm xuống* (s_{el})

Các cốt thép U_LT ép lõm mặt bê tông xuống, do đó đường kính vòng thép giảm đi, gây ra sự hao ứng suất.

Nếu đường kính của cấu kiện < 3 m, ứng suất hao lấy bằng $s_{el} = 300 \text{ kG/cm}^2$.

Nếu đường kính của cấu kiện $\geq 3\text{m}$, ứng suất này không đáng kể, có thể bỏ qua.

Ngoài các ứng suất hao cơ bản trên đây, trong một số trường hợp còn cần phải kể đến các ứng suất hao do biến dạng của khuôn thép, do độ ép sát các khối lắp ghép, do kết cấu chịu tải trọng rung động v.v...

Các ứng suất hao được chia thành hai nhóm: ứng suất hao xảy ra trong quá trình chế tạo cấu kiện cũng như khi ép bê tông s_{h1} và ứng suất hao xảy ra sau khi kết thúc ép bê tông s_{h2} .

Trong phương pháp căng trước:

$$\sigma_{h1} = \sigma_{ch} + \sigma_{nh} + \sigma_{neo} + \sigma_{ms} + \sigma_{tbn}; \sigma_{h2} = \sigma_{co} + \sigma_{tb}$$

Trong phương pháp căng sau:

$$\sigma_{h1} = \sigma_{neo} + \sigma_{ms}; \sigma_{h2} = \sigma_{ch} + \sigma_{co} + \sigma_{tb} + \sigma_{el}$$

Trong tính toán, tổng các ứng suất hao $s_h = s_{h1} + s_{h2}$ phải lấy ít nhất bằng 1000 kG/cm^2 .

5 Cấu kiện chịu kéo trung tâm.

Các cấu kiện thường gặp là thanh cánh hạ chịu kéo của dầm, thanh kéo cửa vòm, ống dẫn có áp và bể chứa tròn v.v...

5.1 Các giai đoạn của trạng thái ứng suất.

a. Cấu kiện căng tr-óc.

Đặc điểm cần chú ý của trạng thái ƯS - BD trong cấu kiện ULT chịu kéo trung tâm là giai đoạn I. Giai đoạn II và III như cấu kiện chịu kéo trung tâm thông thường (Hình 11a).

- Giai đoạn I_1 :

Cốt thép đặt vào khuôn nhưng chưa căng, ứng suất trong cốt thép bằng không.

- Giai đoạn I_2 :

Cốt thép được căng tới ứng suất khống chế rồi cố định vào bệ, đổ bê tông.

$$\sigma_{HK} = \sigma_0 - \sigma_{neo} - \sigma_{ms}$$

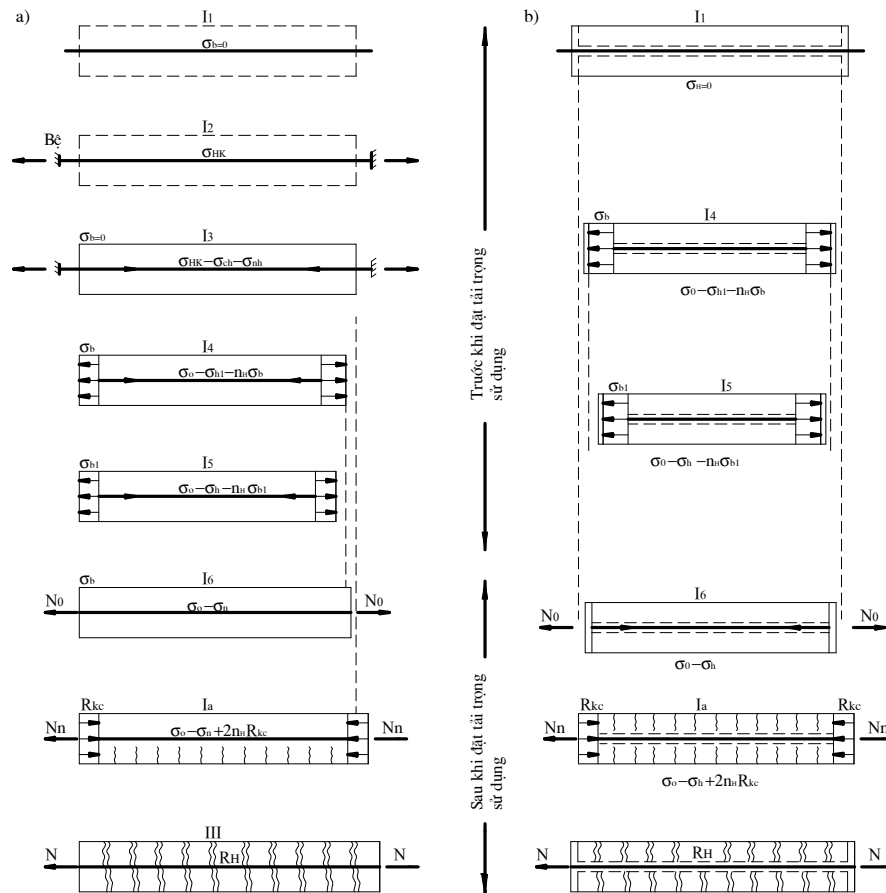
- Giai đoạn I_3 : Trước khi bê tông đạt tới cường độ R_o , do hiện tượng chùng ứng suất trong cốt thép, do chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép và thiết bị căng, sẽ xảy ra các ứng suất hao làm giảm ứng suất khống chế σ_{HK} trong cốt thép ULT.

$$\sigma_H = \sigma_{HK} - \sigma_{ch} - \sigma_{nh}$$

- Giai đoạn I_4 : Khi bê tông đạt cường độ R_o thì buông cốt thép để ép bê tông. Lúc này phát sinh biến dạng từ biến nhanh ban đầu và xảy ra ứng suất hao σ_{tbn} . Do đó ứng suất hao σ_{h1} đạt giá trị lớn nhất:

$$\sigma_{h1} = \sigma_{neo} + \sigma_{ms} + \sigma_{ch} + \sigma_{nh} + \sigma_{tbn}$$

ở giai đoạn này, ứng suất trong cốt thép ULT bằng: $\sigma_H = \sigma_0 - \sigma_{h1} - n_H \sigma_b$



Hình 11. Các trạng thái ứng suất của cấu kiện ULT chịu kéo trung tâm.

a) Cấu kiện căng tr-ớc, b) Cấu kiện căng sau.

ứng suất nén trước trong bê tông được tính theo công thức:

$$s_b = \frac{N_{01}}{F_{qd}}$$

(13)

Trong đó: $N_{01} = (\sigma_0 - \sigma_{h1}) F_H - \sigma_{tbn} F_a$

N_{o1} - lực nén khi bắt đầu buông cốt thép. F_{qd} - diện tích bê tông quy đổi.

$$F_{qd} = F_b + n_a F_a + n_H F_H \quad \text{với } n_a = E_a/E_b; n_H = E_H/E_b$$

- *Giai đoạn I_5* : Theo thời gian, do sự co ngót và từ biến của bê tông xảy ra thêm ứng suất hao s_{h2} , do đó ứng suất hao tổng cộng $s_h = s_{h1} + s_{h2}$ và ứng suất trong cốt thép ULT bằng:

$$s_H = s_o - s_h - n_H s_{b1}.$$

- *Giai đoạn I_6* : Tải trọng tác dụng gây thêm ứng suất kéo trong cốt thép WLT. Khi ứng suất nén trước trong bê tông bị triệt tiêu thì ứng suất trong cốt thép bằng:

$$s_H = s_o - s_h.$$

- *Giai đoạn I_a* : Tải trọng tăng lên cho đến khi ứng suất kéo trong bê tông đạt trị số R_K , khi cấu kiện sắp sửa bị nứt ứng suất trong cốt thép ứng lực trước sẽ là:

$$s_H = s_o - s_h + 2n_H R_K$$

- *Giai đoạn II*: Giai đoạn xuất hiện khe nứt. Lúc này toàn bộ lực kéo do cốt thép chịu. ứng suất kéo trong cốt thép ULT tăng lên hoàn toàn giống như sự tăng ứng suất trong cấu kiện thông thường không có UST.

- *Giai đoạn III*: Giai đoạn phá hoại. Khe nứt mở rộng. ứng suất trong cốt thép đạt tới cường độ giới hạn và xảy ra sự phá hoại.

Qua phân tích các giai đoạn nói trên của trạng thái ứng suất, có thể thấy việc gây ULT chỉ nâng cao khả năng chống nứt của cấu kiện, mà không nâng cao khả năng chịu lực của cấu kiện, vì sau khi khe

nứt xuất hiện, cấu kiện bê tông cốt thép U_{LT} làm việc hoàn toàn giống như cấu kiện bê tông cốt thép thông thường.

b. *Cấu kiện căng sau.*

Trong phương pháp căng sau, các giai đoạn của trạng thái ứng suất cũng tương tự như trường hợp căng trước. Chỉ khác trạng thái ứng suất từ giai đoạn I_1 chuyển ngay sang giai đoạn I_4 mà không qua các giai đoạn I_2 và I_3 (Hình 11b).

- *Giai đoạn I_1 :* Luồn cốt thép vào trong cấu kiện, nhưng chưa căng.

- *Giai đoạn I_4 :* Căng cốt thép đạt tới ứng suất khống chế: $\sigma_{HK} = \sigma_0 - n_H \sigma_b$

$$s_b = \frac{(s_0 - s_{h1})F_H}{F_{qd}}$$

Sau đó cốt thép được neo lại. Lúc này, do biến dạng của neo và sự ép sát các tấm đệm, do ma sát giữa cốt thép và thành ống nên xảy ra ứng suất hao $s_{h1} = s_{neo} + s_{ms'}$, làm giảm ứng suất trong cốt thép U_{LT}.

$$s_H = s_0 - s_{h1} - n_H s_b.$$

Từ giai đoạn I_5 đến lúc phá hoại, trạng thái ứng suất trong bê tông và cốt thép giống như đối với cấu kiện căng trước.

5.2 Tính toán cấu kiện chịu kéo trung tâm.

a. *Tính theo cường độ (Giai đoạn sử dụng).*

Cơ sở dùng để tính toán theo cường độ là giai đoạn III. Ở giai đoạn này, xem toàn bộ tải trọng đều do cốt thép chịu, nên điều kiện bền sẽ là:

$$N \leq R_a F_a + m_H R_H F_H$$

(14)

trong đó m_H - hệ số kể đến điều kiện làm việc của cốt thép cường độ cao khi ứng suất của nó cao hơn giới hạn chảy qui ước và lấy theo bảng 4.

Bảng.4. Hệ số điều kiện làm việc của cốt thép cường độ cao

m_H

Loại thép	M_H
A-IV và A _T -IV	1,20
A-V, A _T -V và sợi thép cường độ cao	1,15
A _T -VI	1,10

b. *Tính không cho phép nứt.*

Cơ sở dùng để tính toán cấu kiện không cho phép nứt là giai đoạn I_a của trạng thái ứng suất. Điều kiện để đảm bảo cho cấu kiện không hình thành khe nứt là:

$$N \leq R_K(F_b + 2n_H F_H + 2n_a F_a) + N_{02}$$

(15)

N - lực kéo dọc trục. N_{02} - lực kéo khi ứng suất kéo trong bê tông bị triệt tiêu.

$$N_{02} = (\sigma_0 - \sigma_h) F_H - \sigma_a F_a$$

(16)

Với $\sigma_a = \sigma_{tbn} + \sigma_{co} + \sigma_{tb}$, F_b - diện tích tiết diện bê tông.

Đối với cấu kiện đòi hỏi có tính chống nứt cấp I và cấp II thì N lấy là tải trọng tính toán. Đối với cấu kiện có tính chất chống nứt cấp III thì tính toán để kiểm tra xem có cần thiết phải tính toán theo sự mở rộng khe nứt hay không và N lấy là tải trọng tiêu chuẩn.

c. *Tính theo sự mở rộng khe nứt.*

$$s_a = \frac{N_c - N_{o2}}{F_a + F_H}$$

(17)

s_a là độ tăng ứng suất trong cốt thép, kể từ lúc ứng suất nén trước trong bê tông triệt tiêu, cho đến lúc kết cấu chịu tải trọng tiêu chuẩn N_c .

d. *Tính theo sự khép kín khe nứt.*

Việc tính toán kiểm tra sự khép kín nứt được xuất phát từ đ/k: đảm bảo sao cho sau khi bị nứt và tải trọng tạm thời ngắn hạn đã qua đi thì dưới tác dụng của ứng suất trước trong cốt thép, khe nứt phải được khép kín lại.

Điều kiện:

Tại thớ ngoài cùng ở miền chịu kéo của cấu kiện cần phải tồn tại ứng suất nén trước s_b không nhỏ hơn 10 kG/cm^2 khi cấu kiện chỉ có tải trọng tĩnh và tải trọng dài hạn tác dụng.

$$\text{Và:} \quad \sigma_{o2} + \sigma_a < kR_{HC}$$

(18)

s_{o2} - ứng suất trong cốt thép U_{LT} sau khi đã kể đến tất cả các ứng suất hao; s_a - độ tăng ứng suất trong cốt thép, tính theo (17); k - hệ số lấy bằng 0,65 đối với sợi thép, và bằng 0,8 đối với thép thanh.

e. Kiểm tra cường độ cấu kiện ở giai đoạn chế tạo.

Khi buông cốt thép ứng lực trước, cấu kiện có thể bị ép hỏng, cho nên cần phải kiểm tra cường độ của cấu kiện ở giai đoạn này (giai đoạn I_4) theo công thức

$$N_H < R_n F + R'_a F'_a$$

(19)

Trong đó N_H - lực nén bê tông khi buông cốt thép.

Đối với cấu kiện căng trước. $N_H = (1,1\sigma_0 - 3000)F_H$

(20)

Đối với cấu kiện căng sau: $N_H = 1,1 (\sigma_0 - n_H \sigma_b)F_H$

(21)

R_n^t - cường độ chịu nén của bê tông ở ngày thứ t (lúc buông cốt thép) nhân với hệ số điều kiện làm việc của bê tông m_b . Lấy $m_b = 1,1$ đối với sợi thép, $m_b = 1,2$ đối với thép thanh.

6 Cấu kiện chịu uốn.

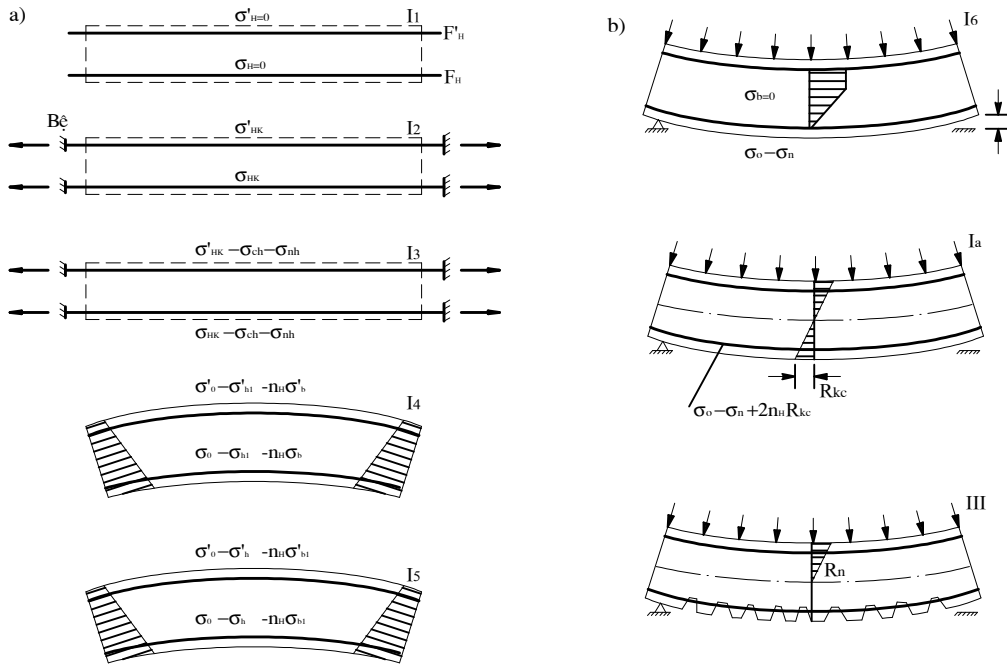
.6.1 Các giai đoạn của trạng thái ứng suất.

a. Cấu kiện căng tr-ớc.

Cũng giống như cấu kiện chịu kéo trung tâm, giai đoạn I được chia làm sáu giai đoạn trung gian, còn các giai đoạn khác tương tự như trong cấu kiện chịu uốn thông thường (Hình 12)

- *Giai đoạn I_1* : Đặt cốt thép F_H và F'_H vào khuôn.

- *Giai đoạn I_2* : Căng cốt thép bên dưới F_H và cốt thép bên F'_H tới ứng suất khống chế s_{HK} và s'_{HK} (thông thường $s_{HK} = s'_{HK}$) rồi cố định cốt thép vào bệ, tiến hành đổ bê tông.



Hình 12. Sự thay đổi ứng suất của cấu kiện ULT chịu uốn (C/k căng tr ớc).

a) Tr- ớc khi đặt tải trọng sử dụng, b) Sau khi đặt tải trọng sử dụng.

- *Giai đoạn I₃*: Trước khi bê tông đạt đến cường độ R_o , lúc này phát sinh các ứng suất hao s_{ch} và s_{nh} (nếu bê tông được đông cứng trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt).

$$\sigma_H = \sigma_{HK} - \sigma_{ch} - \sigma_{nh}, \quad \sigma'_H = \sigma'_{HK} - \sigma'_{ch} - \sigma'_{nh};$$

- *Giai đoạn I₄*: Khi bê tông đạt cường độ R_o , bắt đầu buông cốt thép. Do cốt thép F_H và F'_H không bằng nhau ($F_H > F'_H$) nên cấu kiện bị ép lệch tâm và võng lên phía trên. Trong giai đoạn này phát sinh thêm ứng suất hao s_{tbn} . Do đó ứng suất hao đạt giá trị s_{hl} .

- *Giai đoạn I₅*: Theo thời gian xảy ra các ứng suất hao do co ngót (s_{co}) và từ biến (s_{tb}) của bê tông.

- *Giai đoạn I₆*: Tải trọng tác dụng, làm tăng ứng suất kéo trong cốt thép F_H và làm giảm ứng suất kéo trong cốt thép F'_H . Khi ứng suất nén trước của thớ bê tông ở ngang vị trí trọng tâm cốt thép F_H bị triệt tiêu thì ứng suất trong cốt thép F_H là $s_o - s_h$.

- *Giai đoạn I_a*: ứng suất trong miền bê tông chịu kéo đạt cường độ giới hạn R_K , bê tông sắp sửa nứt, ứng suất trong cốt thép F_H là $s_o - s_h + 2n_H R_K$. Giai đoạn này là cơ sở dùng để tính toán cấu kiện không cho phép hình thành khe nứt.

- *Giai đoạn II*: Khe nứt xuất hiện ở miền bê tông chịu kéo. Tất cả nội lực kéo đều do cốt thép chịu, nhưng ứng suất của cốt thép chịu kéo cũng như của bê tông chịu nén đều chưa đạt tới trị số giới hạn.

- *Giai đoạn III*: Khe nứt mở rộng, ứng suất trong cốt thép chịu kéo và của bê tông chịu nén đều đạt tới trị số giới hạn, cấu kiện bị phá hoại.

Trong giai đoạn này, khi ứng suất nén của bê tông đạt tới trị số giới hạn thì ứng suất trong cốt thép F'_H là

$$\sigma'_H = R'_H - m_1 (\sigma'_o - \sigma'_h)$$

(22)

Trị số s'_H có thể dương (ứng suất nén) hoặc âm (ứng suất kéo). Nên thiết kế sao cho s'_H mang dấu dương vì trong trường hợp s'_H mang dấu âm thì sự có mặt của F'_H làm giảm khả năng chịu lực của cấu kiện U_{LT}.

b. *Cấu kiện căng sau.*

ở cấu kiện căng sau, trạng thái ứng suất từ giai đoạn I_1 chuyển ngay sang giai đoạn I_4 . Sau đó các giai đoạn của trạng thái ứng suất kế tiếp nhau xảy ra như trong cấu kiện căng trước.

6.2 Tính toán cấu kiện chịu uốn.

a. *Tính theo c-ờng độ trên tiết diện thẳng góc.*

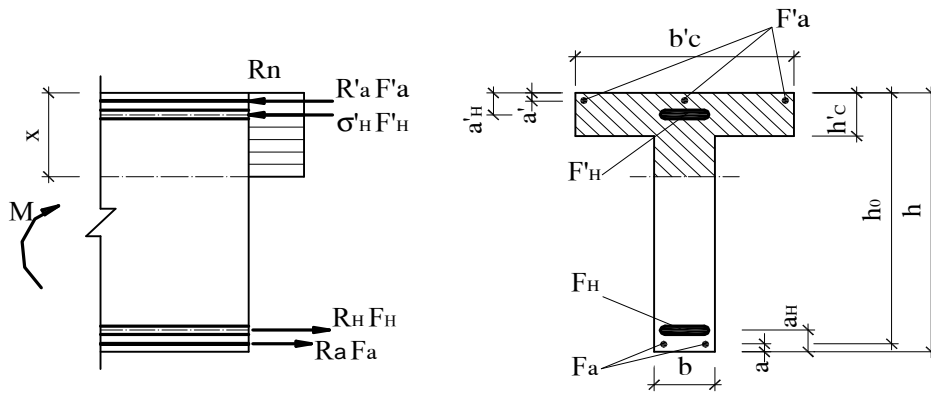
Cách tính toán tương tự như cấu kiện bê tông cốt thép thường, chỉ khác là ở các công thức cơ bản có thêm thành phần cốt thép ứng lực trước. Đối với tiết diện chữ T trục trung hoà đi qua sườn (Hình 13), điều kiện cường độ là:

$$M \leq R_n b x (h_0 - 0,5x) + R_n (b'_c - b) h'_c (h_0 - 0,5h'_c) + R'_a F'_a (h_0 - a') + \sigma_H F'_H (h_0 - a'_H) \quad (23)$$

Chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ công thức:

$$R_n [bx + (b'_c - b)h'_c] = m_H R_H F_H + R_a F_a - \sigma'_H F'_H = R'_a F'_a \quad (24)$$

Trong đó σ'_H - ứng suất trong cốt thép F'_H được xác định theo (22); m_H - hệ số kể đến điều kiện làm việc của cốt thép cường độ cao khi ứng suất cao hơn giới hạn chảy qui ước; m_H - được xác định theo tiêu chuẩn thiết kế.



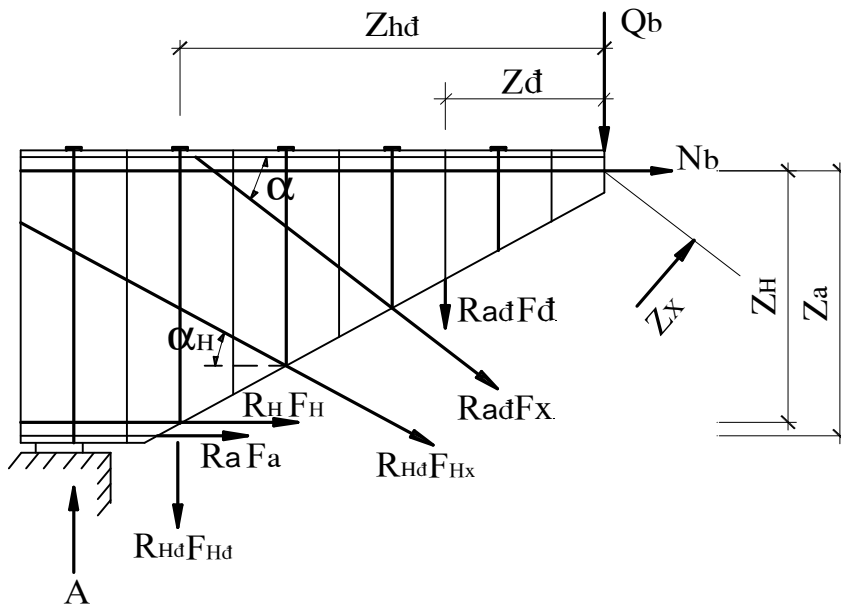
Hình 13. Sơ đồ tính tiết diện chữ T, cánh nằm trong vùng nén, trục trung hoà qua s ờn.

b. Tính theo c-ờng độ trên tiết diện nghiêng.

Để chịu lực trên tiết diện nghiêng trong cấu kiện U^{LT} chịu uốn ngoài cốt dọc, cốt xiên và cốt đai thường còn có cốt dọc và cốt ngang ứng lực trước (Hình 14). Việc tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng chịu cắt được tiến hành tương tự như cấu kiện chịu uốn thông thường.

$$Q \leq Q_b + \sum R_{ad} F_d + \sum R_{ad} F_x \sin \alpha + \sum R_{Hd} F_{Hd} + \sum R_{Hd} F_{Hx} \sin \alpha \quad (25)$$

trong đó Q_b - khả năng chịu cắt bê tông; R_{ad} , R_{Hd} - cường độ tính toán về cắt của cốt thép thường và cốt thép U^{LT}.



Hình 14. Sơ đồ tính toán nội lực trên tiết diện nghiêng.

c. Tính cường độ cấu kiện ở giai đoạn chế tạo.

Tính toán cấu kiện ở giai đoạn chế tạo bao gồm:

- Kiểm tra theo điều kiện về ứng suất nén giới hạn của bê tông (bảng 1) lúc bắt đầu buông cốt thép.
- Kiểm tra sự làm việc tổng thể của cấu kiện ở ngoài giai đoạn chế tạo. Việc kiểm tra được tiến hành như cấu kiện chịu nén lệch tâm thường mà ngoại lực là lực nén do cốt thép U_{LT} gây ra.
- Kiểm tra về việc chịu lực cục bộ của bê tông ở khu vực neo. Nếu khả năng chịu lực của miền bê tông dưới neo không đủ thì phải gia cường bằng các lưới cốt thép hoặc dầm thép.

d. *Tính toán không cho phép rút.*

Để đảm bảo cho cấu kiện không hình thành khe nứt trên tiết diện thẳng góc thì phải thoả mãn điều kiện

$$M \leq M_n$$

(26)

M - mômen uốn do ngoại lực gây ra. Đối với cấu kiện có tính chất chống nứt cấp I và II thì M là mômen tính toán; đối với cấu kiện có tính chất chống nứt cấp III thì M là mômen tiêu chuẩn; M_n - mômen mà cấu kiện chịu được ngay trước khi hình thành khe nứt. Cơ sở dùng để tính M_n là giai đoạn I_a của trạng thái ứng suất biến dạng.

$$M_n = R_k W_n + M_L$$

(27)

$R_k W_n$ là mômen chống nứt của cấu kiện bê tông cốt thép thường. Mômen chống nứt của cấu kiện ULT được tăng lên nhờ M_L , do đó có thể điều chỉnh lực căng để cấu kiện không bị nứt.

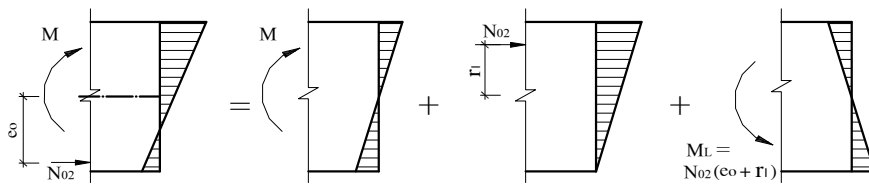
e. *Tính toán theo sự mở rộng và khép kín khe nứt*

Việc tính toán theo sự mở rộng và khép kín khe nứt được tiến hành tương tự như cấu kiện chịu uốn thông thường và cấu kiện ULT chịu kéo trung tâm. Chỉ khác độ tăng ứng suất trong cốt thép s_a được tính theo công thức:

$$s_a = \frac{M^c - N_{02}(Z_1 - e_H)}{(F_a + F_H)Z_1}$$

(28)

Z_1 - khoảng cách giữa hợp lực vùng chịu nén và hợp lực vùng chịu kéo; N_{02} - lực nén trước bê tông ở giai đoạn sử dụng; e_H - khoảng cách từ điểm đặt của lực N_{02} đến trục đi qua trọng tâm diện tích cốt thép chịu kéo.



Hình 15. Sơ đồ lực để xác định M_n

f. *Tính toán kiểm tra độ võng.*

Việc tính toán kiểm tra độ võng được tiến hành phụ thuộc vào tính chất chống nứt của cấu kiện.

Đối với cấu kiện không cho phép nứt, khi tính độ võng người ta xem cấu kiện như vật thể đàn hồi và dùng các công thức đã nêu trong môn cơ học kết cấu để tính toán.

Đối với cấu kiện có khe nứt ở vùng kéo, cách tính độ võng tương tự như cách tính đối với cấu kiện chịu uốn thông thường, chỉ khác là trong các công thức có thêm một vài số hạng để kể đến tác dụng của cốt thép U_{LT}.

Theo tiêu chuẩn mới nhất mà bộ xây dựng mới ban hành
TCXDVN 356 : 2005 "Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế"

TCXDVN 356 : 2005 thay thế cho TCVN 5574 : 1991

-Những yêu cầu bổ sung khi thiết kế kết cấu bê tông cốt thép ứng suất trước

1/ Giá trị của ứng suất trước s_{sp} và s'_{sp} tương ứng trong **cốt thép căng** s và s' cần được chọn với độ sai lệch p sao cho thoả mãn các điều kiện sau đây:

Formatted: Bullets and Numbering

$$\left. \begin{aligned} s_{sp}(s'_{sp}) + p &\leq R_{s,ser} \\ s_{sp}(s'_{sp}) - p &\geq 0,3R_{s,ser} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

trong đó: p tính bằng MPa, được xác định như sau:

- trong trường hợp căng bằng phương pháp cơ học: $p = 0,05s_{sp}$;
- trong trường hợp căng bằng phương pháp nhiệt điện và cơ nhiệt điện:

$$p = 30 + \frac{360}{l} \quad (2)$$

với l – chiều dài thanh **cốt thép căng** (khoảng cách giữa các mép ngoài của bệ), mm.

Trong trường hợp căng bằng thiết bị được tự động hóa, giá trị tử số 360 trong công thức (2) được thay bằng 90.

2/ Giá trị ứng suất s_{con1} và s'_{con1} tương ứng trong **cốt thép căng** s và s' được kiểm soát sau khi căng trên bệ lấy tương ứng bằng s_{sp} và s'_{sp} (xem điều 4.3.1) trừ đi hao tổn do biến dạng neo và ma sát của cốt thép (xem điều 4.3.3).

Formatted: Bullets and Numbering

Giá trị ứng suất trong **cốt thép căng** s và s' được khống chế tại vị trí đặt lực kéo khi căng cốt thép trên bê tông đã rắn chắc được lấy tương ứng bằng s_{con2} và s'_{con2} , trong đó các giá trị s_{con2} và s'_{con2} được xác định từ điều kiện đảm bảo ứng suất s_{sp} và s'_{sp} trong tiết diện tính toán. Khi đó s_{con2} và s'_{con2} được tính theo công thức:

$$s_{con2} = s_{sp} - a \left[\frac{p}{A_{red}} + \frac{P e_{0p} y_{sp}}{I_{red}} \right] \quad (3)$$

$$s'_{con2} =$$

Trong các công thức (3) và (4):

s_{sp}, s'_{sp} – xác định không kể đến hao tổn ứng suất;

P, e_{0p} – xác định theo công thức (8) và (9), trong đó các giá trị s_{sp} và s'_{sp} có kể đến những hao tổn ứng suất thứ nhất;

y_{sp}, y'_{sp} – xem điều 4.3.6;

$$a = E_s / E_b.$$

ứng suất trong cốt thép của **kết cấu tự ứng lực** được tính toán từ điều kiện cân bằng với ứng suất (tự gây ra) trong bê tông.

ứng suất tự gây của bê tông trong kết cấu được xác định từ mức bê tông theo khả năng tự gây ứng suất s_p có kể đến hàm lượng cốt thép, sự phân bố cốt thép trong bê tông (theo một trục, hai trục, ba trục), cũng như trong các trường hợp cần thiết cần kể đến hao tổn ứng suất do co ngót, từ biến của bê tông khi kết cấu chịu tải trọng.

chú thích: Trong các kết cấu làm từ bê tông nhẹ có cấp từ B7,5 đến B12,5, các giá trị s_{con2} và s'_{con2} không được vượt quá các giá trị tương ứng là 400 MPa và 550 MPa.

3/ Khi tính toán cấu kiện ứng lực trước, cần kể đến hao tổn ứng suất trước trong cốt thép khi căng:

- Khi căng trên bệ cần kể đến:
 - + những hao tổn thứ nhất: do biến dạng neo, do ma sát cốt thép với thiết bị nắn hướng, do chùng ứng suất trong cốt thép, do thay đổi nhiệt độ, do biến dạng khuôn (khi căng cốt thép trên khuôn), do từ biến nhanh của bê tông.
 - + những hao tổn thứ hai: do co ngót và từ biến của bê tông:
- Khi căng trên bê tông cần kể đến:

Formatted: Bullets and Numbering

- + những hao tổn thứ nhất: do biến dạng neo, do ma sát cốt thép với thành ống đặt thép (cáp) hoặc với bề mặt bê tông của kết cấu.
- + những hao tổn thứ hai: do chùng ứng suất trong cốt thép, do co ngót và từ biến của bê tông, do nén cục bộ của các vòng cốt thép lên bề mặt bê tông, do biến dạng mối nối giữa các khối bê tông (đối với các kết cấu lắp ghép từ các khối).

Hao tổn ứng suất trong cốt thép được xác định theo bảng 6 nhưng tổng giá trị các hao tổn ứng suất không được lấy nhỏ hơn 100 MPa.

Khi tính toán cấu kiện tự ứng lực chỉ kể đến hao tổn ứng suất do co ngót và từ biến của bê tông tùy theo mác bê tông tự ứng lực trước và độ ẩm của môi trường.

Đối với các **kết cấu tự ứng lực** làm việc trong điều kiện bão hòa nước, không cần kể đến hao tổn ứng suất do co ngót.

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trước trong cốt thép	Giá trị hao tổn ứng suất, MPa	
	khi căng trên bệ	khi căng trên bê tông
A. Những hao tổn thứ nhất		
1. Chùng ứng suất trong cốt thép		
• khi căng bằng phương pháp cơ học		

a) đối với thép sợi	$\left(0,22 \frac{s_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,1\right) s_{sp}$	—
b) đối với thép thanh	$0,1 s_{sp} - 20$	—
• khi căng bằng phương pháp nhiệt điện hay cơ nhiệt điện		
a) đối với thép sợi	$0,05 s_{sp}$	—
b) đối với thép thanh	$0,03 s_{sp}$	—
ở đây: s_{sp} , MPa, được lấy không kể đến hao tổn ứng suất. Nếu giá trị hao tổn tính được mang dấu "trừ" thì lấy giá trị bằng 0.		

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất (tiếp theo)

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trước trong cốt thép	Giá trị hao tổn ứng suất, MPa	
	khi căng trên bê	khi căng trên bê tông
2. Chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép căng trong vùng bị nung nóng và thiết bị nhận lực căng khi bê tông bị nóng	<p>Đối với bê tông cấp từ B15 đến B40:</p> $1,25 \Delta t$ <p>Đối với bê tông cấp B45 và lớn hơn:</p> $1,0 \Delta t$ <p>trong đó: Δt – chênh lệch nhiệt độ giữa cốt thép được nung nóng và bê căng cố định (ngoài vùng nung nóng) nhận lực căng, °C. Khi thiếu số liệu chính xác lấy $\Delta t = 65^\circ\text{C}$.</p> <p>Khi căng cốt thép trong quá trình gia nhiệt tới trị số đủ để bù cho hao tổn ứng suất do chênh lệch nhiệt độ, thì hao tổn ứng suất do chênh lệch nhiệt độ lấy bằng 0.</p>	–
3. Biến dạng của neo đặt ở thiết bị căng	$\frac{\Delta l}{l} E_s$	$\frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{l} E_s$

<p>trong đó: Δl – biến dạng của các vòng đệm bị ép, các đầu neo bị ép cục bộ, lấy bằng 2 mm; khi có sự trượt giữa các thanh cốt thép trong thiết bị kẹp dùng nhiều lần, Δl xác định theo công thức:</p> $\Delta l = 1,25 + 0,15 d$ <p>với d – đường kính thanh cốt thép, mm;</p> <p>l – chiều dài cốt thép căng (khoảng cách giữa mép ngoài của các gối trên bề của khuôn hoặc thiết bị), mm.</p> <p>Khi căng bằng nhiệt điện, hao tổn do biến dạng neo không kể đến trong tính toán vì chúng đã được kể đến khi xác định độ giãn dài toàn phần của cốt thép</p>	<p>trong đó: Δl_1 – biến dạng của êcu hay các bản đệm giữa các neo và bê tông, lấy bằng 1 mm;</p> <p>Δl_2 – biến dạng của neo hình cốc, êcu neo, lấy bằng 1 mm.</p> <p>l – chiều dài cốt thép căng (một sợi), hoặc cấu kiện, mm.</p>
--	---

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất (tiếp theo)

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trong cốt thép	Giá trị hao tổn ứng suất, MPa	
	khi căng trên bê	khi căng trên bê tông
<p>4. Ma sát của cốt thép</p> <p>a) với thành ống rãnh hay bề mặt bê tông</p>		$s_{sp} \left(1 - \frac{1}{e^{wc+dq}} \right)$ <p>trong đó: e – cơ số lôgarit tự nhiên; d, w – hệ số, xác định theo bảng 7; c – chiều dài tính từ thiết bị căng đến tiết diện tính toán, m; q – tổng góc chuyển hướng của trục cốt thép, radian; s_{sp} – được lấy không kể đến hao tổn ứng suất.</p>
<p>b) với thiết bị nắn hướng</p>	$s_{sp} \left(1 - \frac{1}{e^{dq}} \right)$ <p>trong đó: e – cơ số lôgarit tự nhiên; d – hệ số, lấy bằng</p>	

	<p>0,25;</p> <p>q – tổng góc chuyển hướng của trục cốt thép, radian;</p> <p>s_{sp} – được lấy không kể đến hao tổn ứng suất.</p>	
<p>5. Biến dạng của khuôn thép khi chế tạo kết cấu bê tông cốt thép ứng lực trước</p>	$h \frac{Dl}{l} E_s$ <p>trong đó: h – hệ số, lấy bằng:</p> <p>+ $h = \frac{n-1}{2n}$, khi căng cốt thép bằng kích;</p> <p>+ $h = \frac{n-1}{4n}$, khi căng cốt thép bằng phương pháp cơ nhiệt điện sử dụng máy tời (50% lực do tải trọng của vật nặng).</p>	–

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất (tiếp theo)

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trong cốt thép	Giá trị hao tổn ứng suất, MPa	
	khi căng trên bệ	khi căng trên bê tông
	<p>n – số nhóm cốt thép được căng không đồng thời.</p> <p>Δl – độ dịch lại gần nhau của các gối trên bệ theo phương tác dụng của lực P, được xác định từ tính toán biến dạng khuôn.</p> <p>l – khoảng cách giữa các mép ngoài của các gối trên bệ căng.</p> <p>Khi thiếu các số liệu về công nghệ chế tạo và kết cấu khuôn, hao tổn do biến dạng khuôn lấy bằng 30 MPa.</p> <p>Khi căng bằng nhiệt điện, hao tổn do biến dạng khuôn trong tính toán không kể đến vì chúng đã được kể đến khi xác định độ giãn dài toàn phần của cốt thép.</p>	
6. Từ biến nhanh của bê tông		

a) Đối với bê tông đóng rắn tự nhiên	$40 \frac{s_{bp}}{R_{bp}} \text{ khi } \frac{s_{bp}}{R_{bp}} \leq a$ $40a + 85b \left(\frac{s_{bp}}{R_{bp}} - a \right) \text{ khi } \frac{s_{bp}}{R_{bp}} > a$ <p>trong đó a và b – hệ số, lấy như sau:</p> <p>$a = 0,25 + 0,025 R_{bp}$, nhưng không lớn hơn 0,8;</p> <p>$b = 5,25 - 0,185 R_{bp}$, nhưng không lớn hơn 2,5 và không nhỏ hơn 1,1;</p> <p>s_{bp} – được xác định tại mức trọng tâm cốt thép dọc s và s', có kể đến hao tổn theo mục 1 đến 5 trong bảng này.</p> <p>Đối với bê tông nhẹ, khi cường độ tại thời điểm bắt đầu gây ứng lực trước bằng 11 MPa hay nhỏ hơn thì thay hệ số 40 thành 60.</p>	
b) Đối với bê tông được dưỡng hộ nhiệt	Hao tổn tính theo công thức ở mục 6a của bảng này, sau đó nhân với hệ số 0,85.	

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất (tiếp theo)

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trong cốt thép		Giá trị hao tổn ứng suất, MPa		
		khi căng trên bê		khi căng trên bê tông
B. Những hao tổn thứ hai				
7. Chùng ứng suất trong cốt thép				
a) Đối với thép sợi		—		$\left(0,22\frac{s_{sp}}{R_{s,ser}} - 0,1\right)s_{sp}$
b) Đối với thép thanh		—		$0,1s_{sp} - 20$ (xem chú giải cho mục 1 trong bảng này)
8. Co ngót của bê tông (xem điều 4.3.4)		Bê tông đóng rắn tự nhiên	Bê tông được dưỡng hộ nhiệt trong điều kiện áp suất khí quyển	Không phụ thuộc điều kiện đóng rắn của bê tông
Bê tông nặng	a) B35 và thấp hơn	40	35	30
	b) B40	50	40	35
	c) B45 và lớn hơn	60	50	40
Bê tông hạt nhỏ	d) nhóm A	Hao tổn được xác định theo mục 8a, b trong bảng này và nhân với hệ số 1,3		40

	e) nhóm B	Hao tổn được xác định theo mục 8a trong bảng này và nhân với hệ số 1,5	50
	f) nhóm C	Hao tổn được xác định theo mục 8a trong bảng này như đối với bê tông nặng đóng rắn tự nhiên	40
Bê tông nhẹ có cốt liệu nhỏ	g) loại đặc chắc	50	45
	h) loại có lỗ rỗng	70	60
<p>9. Từ biến của bê tông (xem điều 4.3.4)</p> <p>a) Đối với bê tông nặng và bê tông nhẹ có cốt liệu nhỏ đặc chắc.</p>		$150 a s_{bp} / R_{bp} \text{ khi } s_{bp} / R_{bp} \leq 0,75 ;$ $300 a (s_{bp} / R_{bp} - 0,375) \text{ khi } s_{bp} / R_{bp} > 0,75 ,$ <p>trong đó: s_{bp} – lấy như ở mục 6 trong bảng này; a – hệ số, lấy như sau: + với bê tông đóng rắn tự nhiên, lấy $a = 1$; + với bê tông được dưỡng hộ nhiệt trong điều kiện áp suất khí quyển, lấy $a = 0,85$.</p>	

Bảng 6 – Hao tổn ứng suất (kết thúc)

Các yếu tố gây hao tổn ứng suất trong cốt thép		Giá trị hao tổn ứng suất, MPa	
		khi căng trên bệ	khi căng trên bê tông
b) Bê tông hạt nhỏ	nhóm A	Hao tổn được tính theo công thức ở mục 9a trong bảng này, sau đó nhân kết quả với hệ số 1,3	
	nhóm B	Hao tổn được tính theo công thức ở mục 9a trong bảng này, sau đó nhân kết quả với hệ số 1,5	
	nhóm C	Hao tổn được tính theo công thức ở mục 9a trong bảng này khi $a = 0,85$	
c) Bê tông nhẹ dùng cốt liệu nhỏ rỗng		Hao tổn được tính theo công thức ở mục 9a trong bảng này, sau đó nhân kết quả với hệ số 1,2	
10. ép cục bộ bề mặt bê tông do cốt thép có dạng đai xoắn hay dạng đai tròn (khi kết cấu có đường kính nhỏ hơn 3 m)		—	$70 - 0,22 d_{ext}$ trong đó: d_{ext} – đường kính ngoài của kết cấu, cm
11. Biến dạng nén do khe nối giữa các khối (đối với kết cấu lắp ghép từ các khối).		—	$n \frac{\Delta l}{l} E_s$ trong đó: n – số lượng khe nối giữa kết cấu và thiết bị khác theo chiều dài của cốt thép căng;

		DI – biến dạng ép sát tại mỗi khe: + với khe được nhồi bê tông, lấy $DI = 0,3 \text{ mm}$; + với khe ghép trực tiếp, lấy $DI = 0,5 \text{ mm}$; l – chiều dài cốt thép căng, mm.
Ghi chú: 1. Hao tổn ứng suất trong cốt thép căng s' được xác định giống như trong cốt thép s ; 2. Đối với kết cấu bê tông cốt thép tự ứng lực, hao tổn do co ngót và từ biến của bê tông được xác định theo số liệu thực nghiệm. 3. Ký hiệu cấp độ bền của bê tông xem điều 5.1.1.		

Formatted: Bullets and Numbering

4/ Khi xác định hao tổn ứng suất do co ngót và từ biến của bê tông theo mục 8 và 9 trong bảng 6 cần lưu ý:

- a) Khi biết trước thời hạn chất tải lên kết cấu, hao tổn ứng suất cần được nhân thêm với hệ số j_l , xác định theo công thức sau:

$$j_l = \frac{4t}{100 + 3t} \quad (5)$$

trong đó: t – thời gian tính bằng ngày, xác định như sau:

- khi xác định hao tổn ứng suất do từ biến: tính từ ngày nén ép bê tông;
- khi xác định hao tổn ứng suất do co ngót: tính từ ngày kết thúc đổ bê tông.

- b) Đối với kết cấu làm việc trong điều kiện có độ ẩm không khí thấp hơn 40%, hao tổn ứng suất cần được tăng lên 25%. Trường hợp các kết cấu làm từ bê tông nặng, bê tông hạt nhỏ, làm việc trong vùng khí hậu nóng và không được bảo vệ tránh bức xạ mặt trời hao tổn ứng suất cần tính tăng lên 50%.
- c) Nếu biết rõ loại xi măng, thành phần bê tông, điều kiện chế tạo và sử dụng kết cấu, cho phép sử dụng các phương pháp chính xác hơn để xác định hao tổn ứng suất khi phương pháp đó được chứng minh là có cơ sở theo qui định hiện hành.

Bảng 7 – Các hệ số để xác định hao tổn ứng suất do ma sát cốt thép

ống rãnh hay bề mặt tiếp xúc	Các hệ số để xác định hao tổn do ma sát cốt thép (xem mục 4, Bảng 6)		
	w	d khi cốt thép là	
		bó thép hay sợi thép	thanh có gờ
1. Loại ống rãnh			
– có bề mặt kim loại	0,0030	0,35	0,40
– có bề mặt bê tông tạo bởi khuôn bằng lõi cứng	0	0,55	0,65
– có bề mặt bê tông tạo bởi khuôn bằng lõi mềm	0,0015	0,55	0,65
2. Bề mặt bê tông	0	0,55	0,65

5/ Trị số ứng suất trước trong cốt thép đưa vào tính toán cần nhân với hệ số độ chính xác khi căng cốt thép g_{sp} :

Formatted: Bullets and Numbering

$$g_{sp} = 1 \pm \Delta g_{sp} \quad (6)$$

Trong công thức (6), lấy dấu "cộng" khi có ảnh hưởng bất lợi của ứng suất trước (tức là trong giai đoạn làm việc cụ thể của kết cấu hoặc một bộ phận đang xét của cấu kiện, ứng suất trước làm giảm khả năng chịu lực thúc đẩy sự hình thành vết nứt, v.v...); lấy dấu "trừ" khi có ảnh hưởng có lợi.

Trong trường hợp tạo ứng suất trước bằng phương pháp cơ học, giá trị Δg_{sp} lấy bằng 0,1; khi căng bằng phương pháp nhiệt điện và cơ nhiệt điện Δg_{sp} được xác định bằng công thức:

$$Dg_{sp} = 0,5 \frac{P}{S_{sp}} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n_p}} \right) \quad (7)$$

nhưng lấy không nhỏ hơn 0,1;

trong công thức (7):

p , S_{sp} – xem điều 4.3.1;

n_p – số lượng thanh cốt thép căng trong tiết diện cấu kiện.

Khi xác định hao tổn ứng suất trong cốt thép, cũng như khi tính toán theo điều kiện mở rộng vết nứt và tính toán theo biến dạng cho phép lấy giá trị Dg_{sp} bằng không.

6/ ứng suất trong bê tông và cốt thép, cũng như lực nén trước trong bê tông dùng để tính toán kết cấu bê tông ứng lực trước được xác định theo chỉ dẫn sau:

Formatted: Bullets and Numbering

ứng suất trong tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện được xác định theo các nguyên tắc tính toán vật liệu đàn hồi. Trong đó, tiết diện tính toán là tiết diện tương đương bao gồm tiết diện bê tông có kể đến sự giảm yếu do các ống, rãnh và diện

tích tiết diện các cốt thép dọc (căng và không căng) nhân với hệ số α là tỉ số giữa mô đun đàn hồi của cốt thép E_s và bê tông E_b . Khi trên tiết diện có bê tông với nhiều loại và cấp độ bền khác nhau, thì phải quy đổi về một loại hoặc một cấp dựa trên tỉ lệ mô đun đàn hồi của chúng.

ứng lực nén trước P và độ lệch tâm của nó e_{0p} so với trọng tâm của tiết diện quy đổi được xác định theo các công thức:

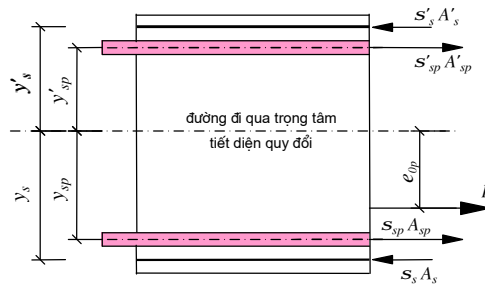
$$P = s_{sp} A_{sp} + s'_{sp} A'_{sp} - s_s A_s - s'_s A'_s \quad (8)$$

$$e_{0p} = \frac{s_{sp} A_{sp} y_{sp} + s'_{sp} A'_{sp} y'_{sp} - s_s A_s y_s - s'_s A'_s y'_s}{P} \quad (9)$$

trong đó:

s_s và s'_s – tương ứng là ứng suất trong cốt thép không căng s và s' gây nên do co ngót và từ biến trong bê tông;

y_{sp} , y'_{sp} , y_s , y'_s – tương ứng là các khoảng cách từ trọng tâm tiết diện quy đổi đến các điểm đặt hợp lực của nội lực trong **cốt thép căng** s và không căng s' (Hình 1).



Hình 1 – Sơ đồ lực nén trước trong cốt thép trên tiết diện ngang của cầu kiện bê tông cốt thép

Trong trường hợp **cốt thép căng** có dạng cong, các giá trị s_{sp} và s'_{sp} cần nhân với $\cos q$ và $\cos q'$, với q và q' tương ứng là

góc nghiêng của trục cốt thép với trục dọc cấu kiện (tại tiết diện đang xét).

Các ứng suất s_{sp} và s'_{sp} được lấy như sau:

- a) Trong giai đoạn nén trước bê tông: có kể đến các hao tổn thứ nhất.
- b) Trong đoạn sử dụng: có kể đến các hao tổn thứ nhất và thứ hai

Giá trị các ứng suất s_s và s'_s lấy như sau:

- c) Trong giai đoạn nén trước bê tông: lấy bằng hao tổn ứng suất do từ biến nhanh theo mục 6 bảng 6.
- d) Trong giai đoạn sử dụng: lấy bằng tổng các hao tổn ứng suất do co ngót và từ biến của bê tông theo mục 6, 8 và 9 bảng 6.

7 / ứng suất nén trong bê tông s_{bp} trong giai đoạn nén trước bê tông phải thỏa mãn điều kiện: tỷ số s_{bp}/R_{bp} không được vượt quá giá trị cho trong Bảng 8.

Formatted: Bullets and Numbering

ứng suất s_{bp} xác định tại mức thõ chịu nén ngoài cùng của bê tông có kể đến hao tổn theo mục 1 đến 6 bảng 6 và với hệ số độ chính xác khi căng cốt thép $g_{sp} = 1$.

Bảng 8 – Tỷ số giữa ứng suất nén trong bê tông s_{bp} ở giai đoạn nén trước và cường độ của bê tông R_{bp} khi bắt đầu chịu ứng lực trước (s_{bp}/R_{bp})

Trạng thái ứng suất của tiết diện	Phương pháp căng cốt thép	Tỷ số s_{bp}/R_{bp} không lớn hơn	
		khi nén	khi nén

		đúng tâm	lệch tâm
1. ứng suất bị giảm hay không đổi khi kết cấu chịu tác dụng của ngoại lực	Trên bề (căng trước)	0,85	0,95*
	Trên bê tông (căng sau)	0,70	0,85
2. ứng suất bị tăng khi kết cấu chịu tác dụng của ngoại lực	Trên bề (căng trước)	0,65	0,70
	Trên bê tông (căng sau)	0,60	0,65
<p>* áp dụng cho các cấu kiện được sản xuất theo điều kiện tăng dần lực nén, khi có các chi tiết liên kết bằng thép tại gối và cốt thép gián tiếp với hàm lượng thép theo thể tích $m_v \geq 0,5\%$ (xem điều 8.5.3) trên đoạn không nhỏ hơn chiều dài đoạn truyền ứng suất l_p (xem điều 5.2.2.5), cho phép lấy giá trị $s_{bp}/R_{bp} = 1,0$.</p> <p>Ghi chú: Đối với bê tông nhẹ từ cấp B7,5 đến B12,5, giá trị s_{bp}/R_{bp} nên lấy không lớn hơn 0,3.</p>			

Formatted: Bullets and Numbering

8 Đối với kết cấu ứng lực trước **mà có** dự kiến trước đến việc điều chỉnh ứng suất nén trong bê tông trong quá trình sử dụng (ví dụ: trong các lò phản ứng, bể chứa, tháp truyền hình), cần sử dụng **cốt thép căng** không bám dính, thì cần có các biện pháp có hiệu quả để bảo vệ cốt thép không bị ăn mòn. Đối với các kết cấu ứng suất trước không bám dính, cần tính toán theo các yêu cầu khả năng chống nứt cấp 1.